

冷却塔损伤评价与加固设计方法

仇国栋^{1,2}, 郑文忠¹, 封云¹

(1.哈尔滨工业大学 土木工程学院, 150090 哈尔滨; 2.青海大学 土木工程学院, 810016 西宁)

摘要:以青海省察尔汗盐湖地区某冷却塔为例,研究塔体在酸性气体侵蚀和冬季冷热交替共同作用下的损伤状况,对冷却塔混凝土脱落、裂缝分布与开展、混凝土强度等进行现场检测.应用 ABAQUS 软件计算了塔体内力,以塔体内力与抗力比值为参数对塔体安全性进行分析.给出塔体外侧后置钢筋混凝土面层、内侧后置砂浆面层并在砂浆面层表面涂抗渗材料的加固方案.论述了加固后承载力验算时所采用的截面材料等效弹性模量与等效强度的计算方法,为同类工程损伤评价与加固设计提供参考.

关键词:冷却塔;损伤检测;承载力;耐久性;加固

中图分类号: TU312

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2013)12-0010-06

Damage evaluation and strengthening design of a cooling tower

ZHANG Guodong^{1,2}, ZHENG Wenzhong¹, FENG Yun¹

(1. School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;

2. School of Civil Engineering, Qinghai University, 810016 Xining, China)

Abstract: There is a cooling tower located in the Golmud Salt Lake area, and due to the erosion of the acid gas and the alternate heating and cooling climate in the winter, it is seriously damaged. In order to grasp the damage situation of the cooling tower, the on-site test of the tower on the falling-off of the concrete, the distribution and propagation of the cracks and the concrete strength has been performed. Based on the test result, the internal force of the tower has been calculated with the application of the ABAQUS software, and the safety of the tower has been analyzed with the ratio of the ratio of the tower internal force and the resistance. According to the analytical result, the strengthening scheme has been proposed, namely, adding concrete layer to the outside surface and mortar layer to the inside surface of the tower, and coating the mortar layer with impervious material. Moreover, the calculation methods of the equivalent elastic modulus and the equivalent strength in verifying the bearing capacity after strengthening have been introduced in the paper, which provides reference to the damage evaluation and strengthening design for engineering projects of the same kind.

Key words: cooling tower; damage detection; bearing capacity; durability; strengthening

某冷却塔地处青海省察尔汗盐湖地区,由通风筒和斜支柱与支墩两部分组成.冷却塔的通风筒为现浇钢筋混凝土双曲线薄壳结构,筒壁厚度最大处为 450 mm,筒壁厚度最小处为 130 mm,斜支柱共 36 根.冷却塔立面图见图 1.

该冷却塔建于 2005 年,通风筒建于 2007 年,2009 年开始使用,在使用两年后塔体通风筒外表面混凝土大面积脱落,见图 2;塔体通风筒外表面局部出现裂缝,见图 3;塔体通风筒内外表面出现严重腐蚀,见图 4;损伤后的塔体通风筒整体状况见图 5.

受冷却塔使用单位委托对塔体进行检测和加固.该冷却塔受到腐蚀的原因主要有:冬天冷热交替引起的冻融破坏;漂浮在气体中的氯离子和硫酸根离子、溶解在雨水中的氯离子和硫酸根离子,对混凝土塔体造成腐蚀;混凝土的抗渗性能未达

收稿日期: 2013-05-28.

基金项目: 国家教育部长江学者奖励计划资助项目(2009-37);
黑龙江省科技攻关项目(GC09C205);黑龙江省科技推广项目(TC10A0101).

作者简介: 仇国栋(1968—),男,副教授;
郑文忠(1965—),男,博士生导师,长江学者特聘教授.

通信作者: 郑文忠, zhengwenzhong@hit.edu.cn.

到设计要求加重了损伤; 混凝土强度劣化是混凝土脱落与开裂的主要原因^[1-3]。

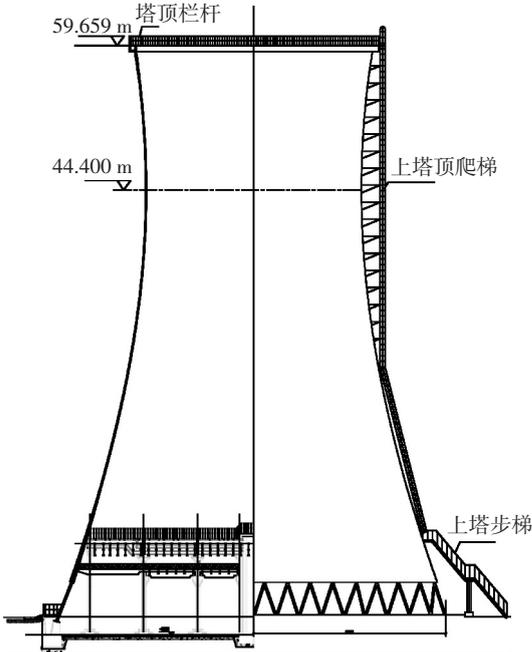


图 1 冷却塔立面



图 2 塔体外表面混凝土大面积脱落



图 3 塔体外表面局部出现裂缝



图 4 塔体内表面出现严重腐蚀



图 5 损伤后的塔体通风筒整体状况

本文提出以塔体内力与抗力比值为参数对塔体进行承载力验算的思路, 通过对已腐蚀冷却塔钻芯取样, 确定冷却塔在腐蚀后各个区段的抗力

水平。建立 ABAQUS 模型, 计算出塔体各个区段的内力情况, 通过塔体各个区段内力与抗力的比值确定塔体的安全性状况。给出在冷却塔通风筒外侧后置钢筋混凝土面层, 在冷却塔通风筒内侧后置水泥砂浆面层, 再涂刷抗渗性材料的加固方案。

1 病害检测与分析

1.1 损伤原因分析

冻融腐蚀是造成塔体损伤的最主要原因, 混凝土中有很多毛细孔, 毛细孔中存在自由水, 处于饱和水状态的混凝土受冻时, 毛细孔壁同时承受膨胀压力及渗透压两种压力, 当这两种压力超过混凝土的抗拉强度时, 混凝土中的损伤会不断扩大, 逐步积累, 经过一定的冻融循环后, 混凝土的裂缝会相互贯通, 其强度也逐渐降低, 使混凝土结构由表及里遭受破坏。

由于冷却塔处于火电厂中, 其塔体附近的 CO_2 、 SO_2 、 SO_3 、 HCl 等酸性气体浓度偏高, 这些酸性气体溶解在雨水中或是与冷却塔中水蒸气接触冷凝后, 回落到冷却塔, 都会形成酸性液体, 酸性液体易与混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应, 对冷却塔产生酸性腐蚀。腐蚀表面混凝土后, 酸性介质对钢筋混凝土会产生化学腐蚀和电化学腐蚀的双重伤害。冻融腐蚀与酸性液体腐蚀共同作用, 使得塔体损伤较为严重。

1.2 冷却塔检测

1.2.1 基本思路

把冷却塔的通风筒划分为 45 段, 自下而上编号为 0~44。位置编号及所对应区段的塔体基本情况见图 6。依据文献[4]进行钻芯取样, 对芯样进行加工、试验。计算芯样试件的混凝土抗压强度, 并对不同高径比的芯样试件抗压强度进行换算, 再计算混凝土强度推定值, 最后转化为棱柱体抗压强度。

1.2.2 芯样试件的混凝土抗压强度计算

钻芯取样并对芯样加工后, 对每个芯样进行试验, 得到抗压试验的压力破坏值, 依据文献[4] 7.0.5 条公式计算芯样试件的混凝土抗压强度

$$f_{\text{cu, cor}} = F_c / A \quad (1)$$

式中: $f_{\text{cu, cor}}$ 为芯样试件的混凝土抗压强度值, MPa; F_c 为芯样试件的抗压试验测得的压力破坏值, N; A 为芯样试件截面面积, mm^2 。

依据文献[4] 7.0.5 条文说明, 高径比为 1.0 的芯样试件的抗压强度与同条件养护同龄期边长为 150 mm 立方体试块的抗压强度基本相当。对高径比大于 1.0 试件的 $f_{\text{cu, cor}}$ 需进行换算。

1.2.3 不同高径比之间芯样抗压强度的换算

为将高径比(h/d) 大于 1.0 的芯样测得的抗压强度换算为高径比 1.0 的芯样试件抗压强度, 即将 $\Phi d \times h$ 芯样实测抗压强度换算为 $\Phi d \times d$ 芯样抗压强度, 文献[4] 给出了芯样试件混凝土抗压强度换算系数 α , 见表 1.

位置编号	中面标高/ m	中面半径/ mm	壁厚/ mm
44	59.009	14 714	210
43	57.711	14 494	170
42	56.423	14 294	130
41	55.132	14 113	130
40	53.869	13 951	130
39	52.544	13 809	130
38	51.247	13 687	130
37	49.948	13 585	130
36	48.647	13 505	130
35	47.346	13 446	130
34	46.043	13 408	130
33	44.740	13 391	130
32	43.137	13 396	130
31	42.135	13 423	130
30	40.832	13 471	130
29	39.531	13 541	130
28	38.231	13 631	130
27	36.933	13 742	130
26	35.637	13 874	130
25	34.343	14 026	130
24	33.051	14 197	130
23	31.762	14 387	130
22	30.476	14 596	130
21	29.193	14 822	130
20	27.913	15 066	130
19	26.636	15 326	130
18	25.363	15 603	130
17	24.093	15 894	130
16	22.826	16 201	130
15	21.563	16 522	130
14	20.304	17 564	130
13	19.048	17 204	130
12	17.796	17 564	130
11	16.547	17 935	130
10	15.302	18 318	130
9	14.060	18 712	130
8	12.821	19 116	130
7	11.585	19 530	164
6	10.353	19 953	198
5	9.124	20 385	231
4	7.890	20 825	265
3	6.674	21 274	299
2	5.454	21 730	333
1	4.236	22 194	380
0	3.022	22 664	450

图 6 冷却塔检测区段划分

表 1 芯样试件混凝土强度换算系数 α

h/d	α
1.0	1.00
1.1	1.04
1.2	1.07
1.3	1.10
1.4	1.13
1.5	1.15
1.6	1.17
1.7	1.19
1.8	1.21
1.9	1.22
2.0	1.24

1.2.4 混凝土强度推定值计算

依据文献[4] 3.2 节计算出混凝土强度推定值的推定区间, 计算公式为

$$f_{cu,e1} = f_{cu,cor,m} - k_1 S_{cor}, \quad (2)$$

$$f_{cu,e2} = f_{cu,cor,m} - k_2 S_{cor}. \quad (3)$$

式中: $f_{cu,cor,m}$ 为芯样试件的混凝土抗压强度平均值, MPa; $f_{cu,e1}$ 为混凝土抗压强度上限值, MPa; $f_{cu,e2}$ 为混凝土抗压强度下限值, MPa; k_1, k_2 为推定区间上限值和下限值系数, S_{cor} 为芯样试件强度样本的标准差, MPa; 依据文献[4] 3.2.2 节以 $f_{cu,e1}$ 作为检验混凝土强度的推定值, 塔体各区段混凝土强度推定值见表 2.

1.2.5 混凝土强度推定值与混凝土强度关系

混凝土强度推定值是指结构混凝土在检测龄期相当于边长 150 mm 立方体试块抗压强度分布中 0.05 分位值的估计值. 这里的混凝土强度推定值是在检测龄期的强度推定值, 并非立方体抗压强度标准值中要求的 28 d 强度, 也并非塔体坏损时对应龄期的强度. 依据文献[5] 所述用检测龄期下结构混凝土强度推定值与设计强度等级比较即可在一定程度上反映结构的可靠度. 若要准确反映塔体抗力水平, 还要将混凝土强度推定值转化为棱柱体抗压强度.

1.2.6 混凝土棱柱体抗压强度计算

棱柱体抗压强度与立方体抗压强度之比为 α_{c1} , 由于混凝土强度都在 C40 以下无需考虑脆性折减系数 α_{c2} , 故可按式(4) 将立方体抗压强度转化为棱柱体抗压强度

$$f_{ce} = \alpha_{c1} f_{cu,e1}, \quad (4)$$

式中 α_{c1} 取 0.76. 得到棱柱体抗压强度见表 2.

1.3 内力计算

根据冷却塔结构的实际尺寸^[6] 和检测后的参数情况, 利用 ABAQUS 软件建立三维实体模型, 沿圆周方向划分 72 个网格, 沿高度方向划分 90 个网格, 混凝土采用六面体实体单元 C3D8 模拟, 钢筋采用线单元 Truss 模拟. 该地区抗震设防烈度为 7 度, 设计基本地震加速度为 0.10 g, 时程分析所用地震加速度时程最大值为 220 cm/s². 经过计算输出仅在重力荷载作用下各区段的内力标准值为 σ_1 , 在水平地震及重力荷载共同作用下冷却塔各个区段的最大主压应力为 σ_2 , 见表 2.

1.4 冷却塔损伤评价

为了明确冷却塔通风筒出现损伤的原因, 将地震荷载作用下冷却塔通风筒各区段最大主压应力标准值与筒体混凝土棱柱体抗压强度标准值做比较, 得到 $\alpha_1 = \sigma_2/f_c$, 见表 2. 可得如下认识: 1) 冷却塔通风筒混凝土强度不能满足设计要求; 2) 冷却塔通风筒中出现抗力值小于荷载效应的情况, 冷却塔安全等级综合判断结果为 D 级, 结

构已不能满足正常使用要求。

1.5 冷却塔耐久性分析

塔体通风筒已产生裂缝, 裂缝中自由水气温低时会结冰产生冻胀, 气温回升时会融化, 因这种冻融在冷却塔运行期内反复出现, 导致缺陷周围混凝土酥松并脱落, 加速内部混凝土碳化, 进一步降低混凝土强度和结构承载能力。混凝土的缺陷已深入到受力主筋和箍筋, 湿热环境和空气接触会加速钢筋锈蚀, 钢筋锈蚀产生的铁锈体积膨胀使混凝土保护层剥落, 进一步加速钢筋锈蚀, 降低结构承载力。

2 冷却塔加固方案与加固后内力计算

2.1 加固设计基本思路

采用加大截面法^[7]在冷却塔外侧后置钢筋混凝土面层, 以提高承载力。冷却塔加固后的耐久性是塔体加固成败的关键, 综合考虑冷却塔实际情况和地区气候条件, 在冷却塔通风筒内侧后置水泥砂浆面层, 再涂刷抗渗性材料, 以提高耐久性。

2.2 加固与修复方案

2.2.1 钢筋网片喷射细石混凝土面层

在筒体外表面布置环向筋、纵筋和拉结筋。喷射细石混凝土面层, 以提高筒体抗力水平。根据计算得到的塔身抗力情况, 冷却塔通风筒外侧钢筋网中, 平行于塔高方向的纵筋采用两种型号。位置编号 1-15 和 42-44 的区段采用 $\phi 10$, 位置编号 16-41 的区段采用 $\Phi 12$, 钢筋搭接长度均为 500 mm。环向筋采用 $\phi 8@200$ 。沿整个筒体布置 $\phi 6@600 \times 600$ 的锚筋, 锚筋贯穿通风筒壁厚。筒体外表面钢筋布置见图 7, 锚筋布置见图 8。

2.2.2 筒体内部加固设计

在筒体内部设置钢丝网片和拉结筋, 涂抹水泥砂浆面层以确保强度。首先在贯穿通风筒壁厚的锚筋上悬挂钢丝网片, 钢丝网片如需要搭接, 在各个方向的搭接长度均为 100 mm, 钢丝网片布置好以后, 用强度等级为 M10 的水泥砂浆抹灰, 厚度为 30 mm, 见图 7。

2.3 加固后的内力计算

首先计算各个截面加固后的折算弹性模量。弹性模量的折算按塔体水平截面面积加权平均得到, 计算公式为

$$E_c = (A_1 E_1 + A_2 E_2 + A_3 E_3) / (A_1 + A_2 + A_3). \quad (5)$$

式中: A_1 、 A_2 、 A_3 分别为原混凝土、新加混凝土、砂浆的截面面积; E_1 、 E_2 、 E_3 分别为原混凝土、新增混凝土、新增砂浆的弹性模量。混凝土标准立方体

抗压强度标准值在 15 N/mm^2 以上时, 弹性模量按文献[7]4.1.5 节取值。混凝土标准立方体抗压强度标准值小于 15 N/mm^2 时, 弹性模量按文献[8-10]计算, 公式为

$$E_1 = 10^5 / (A + B/R). \quad (6)$$

式中: A 、 B 为试验常数分别取 2.2 和 34.7, R 为边长为 150 mm 立方体混凝土抗压强度标准值 (MPa), E_1 为标准立方体抗压强度标准值小于 15 N/mm^2 时混凝土弹性模量。各截面加固后的折算弹性模量见表 2。

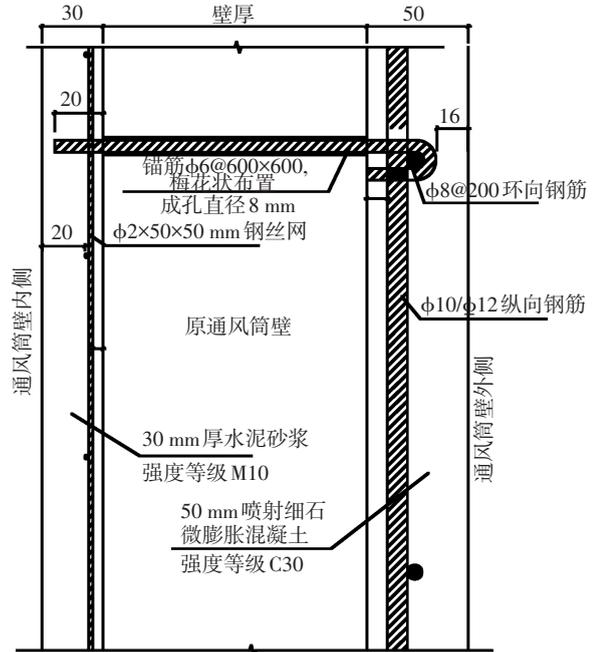


图 7 通风筒外表面钢筋布置 (mm)

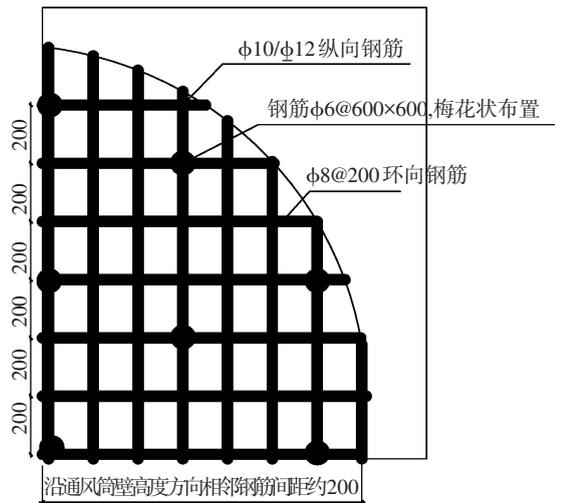


图 8 锚筋布置 (mm)

砂浆弹性模量按文献[11]计算, 公式为

$$E_3 = 1057 f_1^{0.84}, \quad (7)$$

式中 f_1 为砂浆抗压强度标准值。

根据加固后塔体实际情况, 利用 ABAQUS 软件建立加固后冷却塔模型, 输出仅在重力荷载作用下各区段应力标准值 σ_{ij} , 在水平地震及重力荷

载共同作用下各区段的最大主压应力 σ_{2j} . 根据 ABAQUS 输出结果, 在水平地震及重力荷载作用下各个区段的最大主应力与竖向应力值接近, 说明地震作用引起的剪应力对最大主应力影响不

大, 因此可近似使用标量计算竖向地震效应 σ_{3j} , 计算公式为

$$\sigma_{3j} = \sigma_{2j} - \sigma_{1j}. \quad (8)$$

表 2 加固前后冷却塔内力及折算弹性模量

位置编号	$f_{cu,ei}/\text{MPa}$	f_{ce}/MPa	σ_1/MPa	σ_2/MPa	α_1	$E_c/10^4\text{MPa}$	f_{sj}/MPa	σ_{1j}/MPa	σ_{2j}/MPa	σ_{4j}/MPa	α_2
0	33.50	25.46	0.70	1.59	0.06	23.29	24.67	0.64	1.19	1.48	0.06
1	34.60	26.30	0.47	1.06	0.04	24.00	24.00	0.45	1.14	1.44	0.06
2	33.50	25.46	0.45	1.08	0.04	23.29	24.20	0.49	1.90	2.42	0.10
3	25.50	19.38	0.86	2.38	0.12	18.13	18.20	0.74	2.16	2.73	0.15
4	18.40	13.98	0.84	2.35	0.17	13.55	13.60	0.81	2.15	2.72	0.20
5	16.90	12.84	0.83	2.33	0.18	12.58	12.50	0.80	2.18	2.75	0.22
6	19.70	14.97	0.82	2.32	0.15	14.38	14.45	0.78	2.29	2.89	0.20
7	22.30	16.95	0.80	2.17	0.13	16.06	15.78	0.76	2.24	2.84	0.18
8	21.40	16.26	0.79	2.13	0.13	15.48	15.94	0.74	2.02	2.55	0.16
9	23.60	17.94	0.78	2.14	0.12	16.90	17.50	0.73	1.40	1.75	0.10
10	16.70	12.69	0.47	1.18	0.09	12.45	12.75	0.48	1.21	1.53	0.12
11	18.90	14.36	0.51	1.30	0.09	13.87	13.79	0.50	1.52	1.93	0.14
12	17.10	13.00	0.57	1.48	0.11	12.71	12.56	0.56	1.59	2.01	0.16
13	16.80	12.77	0.64	1.71	0.13	12.51	12.45	0.61	1.97	2.49	0.20
14	17.90	13.60	0.78	2.11	0.16	13.22	13.17	0.79	2.39	3.03	0.23
15	15.40	11.70	0.89	2.41	0.21	11.61	11.50	0.84	2.19	2.76	0.24
16	12.40	9.42	0.86	2.37	0.25	9.67	9.70	0.83	2.08	2.62	0.27
17	10.60	8.06	0.76	2.19	0.27	8.51	8.38	0.74	2.12	2.68	0.32
18	9.90	7.52	0.75	2.15	0.29	8.06	8.10	0.72	1.99	2.51	0.31
19	6.40	4.86	0.73	2.10	0.43	5.80	5.86	0.71	1.63	2.05	0.35
20	1.80	1.37	0.71	1.76	1.28	2.83	2.82	0.69	1.58	1.98	0.70
21	3.60	2.74	0.59	1.62	0.59	4.00	4.02	0.56	1.34	1.69	0.42
22	5.20	3.95	0.56	1.25	0.32	5.03	5.08	0.54	1.53	1.93	0.38
23	9.50	7.22	0.54	1.45	0.20	7.80	8.06	0.52	1.09	1.37	0.17
24	7.30	5.55	0.51	1.36	0.24	6.38	6.42	0.50	1.33	1.67	0.26
25	4.20	3.19	0.49	1.28	0.40	4.38	4.33	0.47	1.24	1.56	0.36
26	3.10	2.36	0.46	1.18	0.50	3.67	3.64	0.44	1.13	1.42	0.39
27	2.40	1.82	0.43	1.09	0.59	3.22	3.19	0.41	1.07	1.34	0.42
28	4.20	3.19	0.40	1.00	0.31	4.38	4.34	0.38	1.10	1.39	0.32
29	5.80	4.41	0.38	0.91	0.21	5.42	5.47	0.36	1.37	1.75	0.32
30	3.10	2.36	0.69	1.90	0.80	3.67	3.69	0.70	1.62	2.03	0.55
31	2.60	1.98	0.67	1.74	0.88	3.32	3.32	0.65	1.64	2.06	0.62
32	4.40	3.34	0.65	1.85	0.55	4.51	4.53	0.63	1.69	2.13	0.47
33	2.20	1.67	0.63	1.78	1.06	3.09	3.11	0.61	1.62	2.05	0.66
34	3.70	2.81	0.60	1.70	0.60	4.06	4.10	0.60	1.02	1.27	0.31
35	6.90	5.24	0.34	0.79	0.15	6.13	6.29	0.33	0.85	1.07	0.17
36	8.80	6.69	0.31	0.71	0.11	7.35	7.28	1.08	1.09	1.31	0.18
37	12.90	9.80	0.28	0.62	0.06	10.00	9.77	1.01	1.06	1.27	0.13
38	8.90	6.76	0.25	0.53	0.08	7.42	7.50	0.67	0.74	0.90	0.12
39	14.40	10.94	0.22	0.45	0.04	10.96	10.86	0.59	0.63	0.76	0.07
40	13.20	10.03	0.19	0.36	0.04	10.19	9.80	0.28	0.40	0.49	0.05
41	8.90	6.76	0.16	0.24	0.03	7.42	6.80	0.25	0.28	0.34	0.05
42	14.70	11.17	0.16	0.23	0.02	11.16	9.67	0.17	0.24	0.29	0.03
43	18.90	14.36	0.09	0.15	0.01	13.87	19.00	0.11	0.16	0.19	0.01
44	19.80	15.05	0.06	0.09	0.01	14.45	8.00	0.00	0.06	0.08	0.01

注:各位置编号见图 6, 应力值均为各个区段最低标高处点的应力值.

计算出水平地震作用下引起的最大主应力. 依据文献[12]5.4.1节公式计算冷却塔各区段最大主压应力设计值, 计算公式为

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk}. \quad (9)$$

式中: S 为重力荷载与水平地震作用组合下的冷却塔各区段最大主压应力设计值; S_{GE} 为重力荷载代表值的效应; S_{Ehk} 为水平地震作用标准值效应; 重力荷载效应分项系数 γ_G 取 1.2, 水平地震作

用效应分项系数 γ_{Eh} 取 1.3. 得到重力荷载与水平地震作用组合下的冷却塔各区段最大主压应力设计值 σ_{4j} , 见表 2.

依据文献[7] 4.1.4 节文说明将塔体原混凝土强度标准值转化为强度设计值, 计算公式为

$$f_1 = f_{ce} / \gamma_c, \quad (10)$$

式中 γ_c 为材料分项系数, 取 1.4.

依据文献[6] 5.4.2 节确定新旧混凝土组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值, 计算出加固后混凝土折算棱柱体抗压强度设计值, 计算公式为

$$f_{cj} = (A_1 f_{c1} + 0.9 A_2 f_{c2} + 0.9 A_3 f_{c3}) / (A_1 + A_2 + A_3). \quad (11)$$

式中: f_{c1} f_{c2} f_{c3} 分别为原混凝土、新增混凝土、新增砂浆的抗压强度设计值, 原混凝土立方体抗压强度标准值小于 5 N/mm^2 时, 计算强度按 0 计算. 结果见表 2.

为了明确冷却塔加固后承载力情况, 将重力荷载与水平地震共同作用下加固后的冷却塔各区段最大主应力设计值与加固后折算混凝土抗压强度设计值比较, 计算公式为

$$\alpha_2 = \sigma_{4j} / f_{cj}, \quad (12)$$

结果见表 2.

经计算可得以下认识: 1) 按本方案加固, 荷载效应设计值/抗力设计值为 $0.01 \sim 0.70$, 满足正截面承载力要求; 2) 根据 ABUQUS 输出结果, 侧移与塔高比值为 $1/1\,000$, 满足正常使用要求; 3) 根据底部剪力法, 结构总水平地震作用设计值为 $1\,555 \text{ kN}$, 小于剪力设计值 $11\,143 \text{ kN}$, 满足受剪承载力要求.

2.4 耐久性处理与分析

在塔体通风筒内侧的钢丝网水泥砂浆层表面, 先刷一层渗透性憎水性材料 SPS801, 再涂一层成膜型憎水材料 SPS802. 涂刷 SPS801 后可使砂浆的冻融剥落量、相对动弹性模量损失和膨胀率均明显降低. 涂刷 SPS802 可有效防止水分向塔身渗透.

3 结 论

1) 冻融腐蚀与酸性腐蚀是造成冷却塔损坏的主要原因.

2) 提出以塔体内力与抗力比值为依据进行加固的设计思想. 加固设计计算时, 混凝土弹性模量按实际弹性模量加权平均取用, 混凝土抗压强度按外侧后置新混凝土、原混凝土、内侧后置砂浆强度加权平均取用.

3) 在塔体通风筒内侧钢丝网水泥砂浆层表面, 先刷一层渗透性憎水性材料 SPS801, 再涂一层成膜型憎水材料 SPS802 以提高塔体耐久性.

参考文献

- [1] 关地. 混凝土冷却塔的腐蚀与防护[J]. 全面腐蚀控制, 1994, 3(8): 22-23.
- [2] 王中平. 冷却塔腐蚀原因分析及对策[J]. 化工设备与管道, 2005, 2(42): 55-56.
- [3] 刘志明, 郑永来. 冷却塔钢筋混凝土耐久性分析[J]. 工业建筑, 2010, 40: 796-798, 802.
- [4] 中国工程建设标准化协会标准. CECS03: 2007 钻芯法检测混凝土强度技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [5] 韩建平, 王飞行, 王志华. 钻芯法检测评定混凝土强度的若干问题探讨[J]. 工程抗震与加固改造, 2008, 30(2): 109-117.
- [6] 中华人民共和国国家标准. GB50367—2006 混凝土结构加固设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [7] 中华人民共和国国家标准. GB50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [8] NOORANI R, HESAMI M. An elaborative evaluation of various methods for simultaneous estimation of uniaxial compressive strength and elasticity modulus of intact rocks [C]//Harmonising Rock Engineering and the Environment Proceedings of the 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics. Beijing: ISRM, 2012: 354-355.
- [9] DEGHAN S, SATTARI G, CHEHREH C S, et al. Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using regression and artificial neural networks [J]. Mining Science and Technology, 2010, 20(1): 41-46.
- [10] 李翠琳. 冷却塔混凝土强度弹性模量测试及分析[J]. 西北电力技术, 1998, 5: 51-54, 60.
- [11] 刘桂秋. 砌体及砌体材料弹性模量取值的研究[J]. 湖南大学学报, 2008, 4(35): 29-32.
- [12] 中华人民共和国国家标准. GB20011—2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

(编辑 赵丽莹)