

抗拉拔锚杆在取水泵房抗浮稳定设计中的应用

徐喜林¹ 王晔辉²

1. 中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257026

2. 内蒙古中能天然气有限公司, 内蒙古 呼和浩特 020010

摘 要: 河岸式取水泵房的抗浮稳定设计是泵房设计的一个重要环节。为了探讨抗拉拔锚杆锚固抗浮稳定方式在泵房抗浮稳定中的应用特点, 以元坝气田净化厂取水泵房的抗浮稳定设计为工程实例, 扼要阐述了泵房抗拉拔锚杆锚固抗浮稳定方式较适用于构筑物临水面水位较高或构筑物地下室的地下水位较高的情况; 对基坑基底岩土条件来讲, 适用于基岩较完整、坚固, 岩层较厚的场地。提出了抗拉拔锚杆锚固抗浮稳定的一般设计要点, 可为类似工程的设计、施工和研究提供参考。

关键词: 河岸式取水泵房; 抗拉拔锚杆; 抗浮稳定设计

DOI: 10. 3969/j. issn. 1006 - 5539. 2015. 04. 019

0 前言

河岸式取水泵房的抗浮稳定设计是泵房设计的重要环节。当泵房尺寸较大、水位较高时, 泵房的抗浮稳定往往是设计的主要控制因素^[1]。本文介绍了元坝气田取水泵房的抗浮稳定设计和施工投产情况, 为研究类似工程的取水泵房抗浮稳定方式和抗浮条件提供了成功的实例。

1 取水泵房工程概况

元坝气田取水泵房位于四川省广元、南充、巴中境内, 隶属于中石化巴中探区。元坝气田净化厂是元坝气田重要的系统配套工程, 净化厂从该区东河取水, 设河岸式取水泵房, 装 3 台水泵机组, 设计取水规模为 800 m³/h。净化厂取水泵房为元坝气田建设给排水工程之一, 是提供元坝净化厂生产及生活用水的基础建设工程^[2]。该取水泵房于 2012 年年底完成施工图设计, 2013 年 1 月开工, 其主体工程在建设过程中解决了河岸山体边坡施工困难, 泵房与河床高度落差较大 (主体工程施工高度达 26 m) 等工程难题, 并经历了 7 月东河史上最大规模的洪灾, 于 8 月成功封顶。2014 年 6 月 14 日, 元坝气田净化厂取水泵房成功完成受电^[3]。

1.1 设计规模

根据泵站等级与防洪 (潮) 标准^[4], 泵房设计等级与规模为 II 等中型规模。取水泵房地理位置及工程实物照片见图 1。

1.2 区域气象条件

工程区域风向多为静风, 年主导风向为北、北西风, 平均风速 2.70 m/s, 最大风速 34.00 m/s。区域多年平均降雨量 1 020.00 mm, 全年各月降雨量不均, 7 月最多, 降雨量 214.30 mm, 12 月最少, 降雨量 9.80 mm。多年平均气温 16.60 ℃, 极端最高 40.20 ℃, 极端最低 -4.60 ℃。

1.3 场地稳定性及工程地质条件

取水泵房勘察场地地貌单元属低山缓丘和河流岸坡地貌, 原始地貌基本未破坏, 地质环境较好。泵房南侧有一东西走向、宽约 6.00 m 的碎石沥青公路, 泵房北侧为东河及河岸阶地冲洪积层 (图 1)。场地整体地势南高北低, 呈斜坡状。根据现场岩土工程勘察, 场区内未见地面塌陷、土洞及地裂缝等不良地质, 场地边坡现状整体处于稳定状态。

场地地基主要岩土层分布及工程地质特征见表 1, 岩土层工程地质力学性能指标见表 2, 岩土工程地质剖面见图 2。

收稿日期: 2014 - 12 - 21

作者简介: 徐喜林 (1964 -), 男, 河南林县人, 高级工程师, 本科, 主要从事水利、道桥、市政、油气田地面工程设计工作。



图 1 取水泵房地理位置及工程实物照片

表 1 岩土层分布及工程地质特征

层土编号及名称	土层特征描述
1-2 砂质粉土(Q_4^{al+pl})	河岸冲击成因粉土, 结构松散, 干强度低, 韧性较差; 层厚 4.80 ~ 5.80 m, 层底标高 361.53 ~ 362.48 m
2-1 强风化泥岩(K_1c)	以黏土矿物为主, 含砂质, 块状构造; 节理及裂隙发育, 质软; 层厚 0.20 ~ 3.20 m, 层底标高 358.33 ~ 382.16 m
2-2 中风化泥岩(K_1c)	以黏土矿物为主, 含少许砂质, 块状构造; 节理及裂隙不发育, 岩体结构完整, 质较硬; 层厚 4.40 ~ 5.20 m(未揭穿), 层底标高 353.93 ~ 354.28 m

表 2 岩土层工程地质力学性能指标

土层编号及名称	承载力特征值 / kPa	饱和单轴抗压强度标准值 / MPa	内聚力 / MPa	内摩擦角 / (°)	桩周土极限侧阻力标准值 / kPa	桩的极限端阻力标准值 / kPa
1-2 砂质粉土(Q_4^{al+pl})	120	—	0.01	25	—	—
2-1 强风化泥岩(K_1c)	260	—	—	—	—	—
2-2 中风化泥岩(K_1c)	500	2.53	0.36	30	80	800

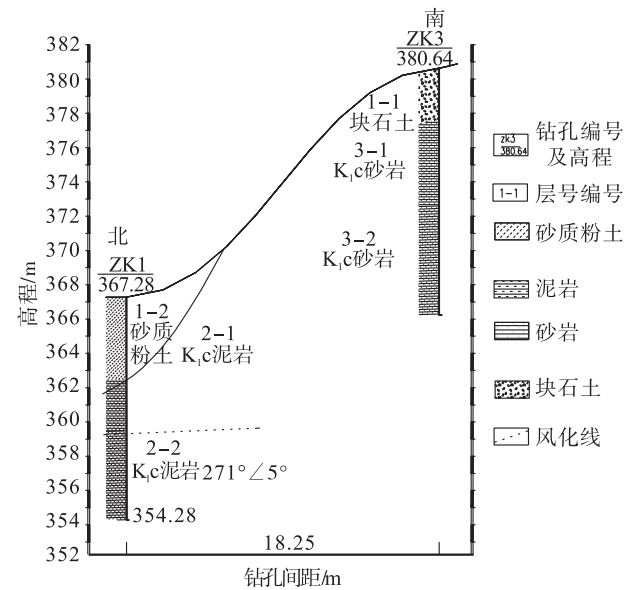


图 2 岩土工程地质剖面图

1.4 场地水文地质条件

根据含水介质及地下水的赋存条件, 场地钻探深度范围内地下水主要类型为松散孔隙水及浅层基岩裂隙

水, 东河岸边为潜水。
取水泵房工程场地邻近东河, 水位随旱季和雨季交替升降, 另外在河流下游有一水电站, 其放水和蓄水也会影响河流水位的变化。经勘察, 水电站蓄水后于东河工程场地部位设计洪水位 380.30 m, 正常水位 368.50 m, 最低水位 363.00 m。勘察期间地下水水位埋深 1.20 ~ 8.20 m。

1.5 结构布置

根据取水泵房所处地理位置及场地地形地貌特征条件, 取水泵房平面布置采用合建式带隔墙平底板圆形结构, 立面布置采用上部结构为砖混泵房、下部结构为钢筋混凝土泵井。取水泵井设进水间与机组间, 由钢筋混凝土隔墙隔开。钢筋混凝土泵井的净内径 15.00 m, 井壁厚度 1.00 ~ 1.50 m, 底板厚度 1.50 m。取水泵房平面见图 3, 立面见图 4。

取水泵房按 II 等中型规模设计, 设计洪水重现期为 50 年。取水泵房的设计最高洪水位 380.30 m, 正常取水水位 368.50 m, 最低取水水位 363.00 m。取水泵房下部结构钢筋混凝土泵井顶部设计高程 382.50 m, 进水间底

板地面设计高程 358.00 m, 机组间底板地面设计高程 360.00 m。泵井底板底部设计高程 356.50 m。

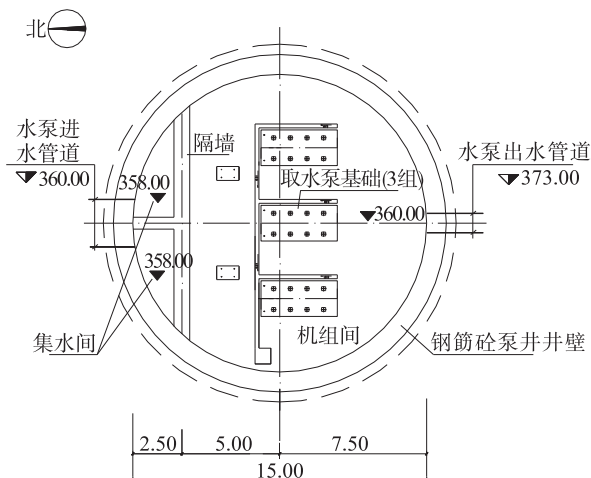


图3 取水泵房平面(单位:m)

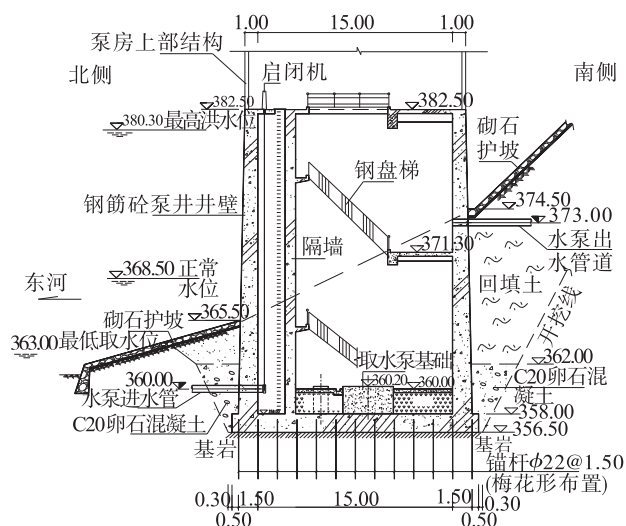


图4 取水泵房立剖面图(单位:m)

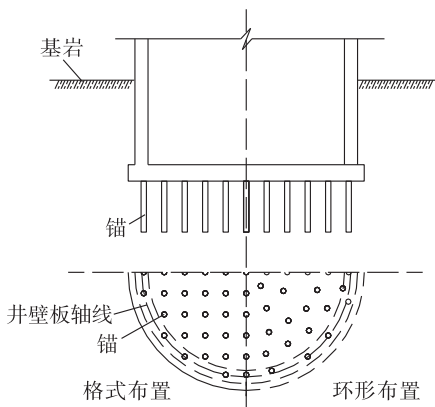


图5 泵房基础锚杆布置图

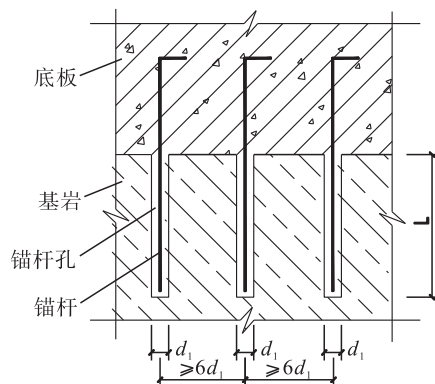


图6 锚杆锚固图

式,主要用于不具备其他抗浮条件或自重增加不多就能满足抗浮稳定要求的情况。

采用配重抗浮稳定方式时,较常用的配重是加在泵井底板外挑部分的填料或砌体。当不影响底部有效操作空间时,也可采用块石混凝土或其他低等级混凝土等填料加在泵井内部底板上。配重抗浮稳定方式是结合基坑回填施工较常用的一种方式。

嵌固抗浮稳定方式,是将泵井的基础嵌固于完整岩石的基槽内,利用岩石的抗剪强度达到抗浮目的,一般适用于基岩较完整且厚度足够的情形。但采用这种方式,对岩石基槽的开挖施工及泵井的基础嵌入工艺有较高要求,施工难度较大,施工质量不易控制。

锚杆锚固抗浮稳定方式是在位于泵井整个底板基础下面的基岩部位,均匀埋设抗拉拔锚杆,泵井的钢筋混凝土底板与底板下的稳定基岩通过锚杆锚固成整体结构,利用锚杆的抗拉拔力提高泵房的抗浮稳定。泵房基础锚杆布置见图5,锚杆锚固见图6。

2 取水泵房抗浮稳定设计

2.1 取水泵房抗浮稳定方式的确定

取水泵房位于东河南岸坡地,基坑开挖施工、回填后,下部结构设计埋深为 9.00 ~ 18.00 m,具备足够的抗滑移、抗倾覆能力。但在设计最高洪水位工况下,下部结构浸没水中的深度达 24.80 m,故影响取水泵房稳定的主要控制因素是抗浮稳定。

取水泵房抗浮稳定方式主要有增加自重抗浮稳定、配重抗浮稳定、嵌固抗浮稳定、锚杆锚固抗浮稳定等。

采用增加自重抗浮稳定方式时,由于设备重量、使用荷载和安装荷载不是抗浮稳定计算的有效荷载,故自重的增加主要靠增大井壁和底板重量来达到目的。而井壁和底板重量的增大,又基于井壁和底板截面尺寸的加大,不仅增加了工程耗材量,而且还增加了泵房的整体体积,使得浮力也相应增大。所以自重抗浮稳定方

锚杆锚固抗浮在我国许多地区已广泛应用^[5]。对地下构筑物来讲,当构筑物地下室的自重和覆土不能抵消地下水产生的浮力时,通过设置垂直抗拉拔锚杆,可以消除地下水浮力产生的不利影响,从而保证地下室的稳定和安全,设置垂直抗拉拔锚杆施工方便,造价相对

低廉^[6]。对构筑物临水水位较高的情况,在构筑物基底设置抗拉拔锚杆抗浮则更有优势^[7]。锚杆锚固抗浮稳定方式比较适用于基岩较完整、岩层较厚的场合,与嵌固抗浮稳定方式相比,可充分利用机械施工条件,施工质量容易控制,效率较高^[8]。

元坝气田取水泵房泵井底板底部设计高程 356.50 m,位于 2-2 中风化泥岩(K_{1c})层,该层饱和单轴抗压强度标准值 2.53 MPa,承载力特征值 500.00 kPa,基岩坚固完整、岩层较厚(钻探层厚 4.40~5.20 m)。为了充分利用泵井底板下完整基岩坚固、稳定的性能,结合基坑开挖方式,考虑基坑回填料的配重作用,确定泵房的抗浮方式为以设置抗拉拔锚杆锚固抗浮为主、配重为辅的综合抗浮稳定方式。

2.2 抗拉拔锚杆抗浮稳定设计

2.2.1 计算公式

抗拉拔锚杆锚固抗浮稳定的设计目前没有专门的规范条文,可参考 GB 50007-2011《建筑地基基础设计规范》(简称 GB 50007-2011)中“岩石锚杆基础”部分^[9]和《给水排水工程结构设计手册》(第二版)。取水泵房抗浮稳定按式(1)验算:

$$\frac{\sum G_i}{F} \geq K_{sf} \quad (1)$$

式中: $\sum G_i$ 为抗浮力总和,根据所采用的抗浮方式确定,kN; F 为取水泵房所受浮力,kN; K_{sf} 为抗浮稳定性抗力系数,取 $K_{sf}=1.05$ 。

取水泵房所受浮力 F 按式(2)计算:

$$F = AH_1\gamma_w \quad (2)$$

式中: A 为包括外挑部分的底板面积,m²; H_1 为底板底面至水面高度,m; γ_w 为水重度,kN/m³,一般取 10.00 kN/m³。

根据地形地貌和地质特征条件,元坝气田取水泵房下部结构施工方式采用基坑放坡开挖,布设抗拉锚杆,浇筑泵井后再回填,泵井筒壁与岩石间由回填料隔开,泵房的抗浮力总和 $\sum G_i$ 不再考虑泵井筒壁与岩石的黏结力,主要考虑泵房结构自重 G_1 、泵井底板外挑部分及泵井内机组间底板上填料配重 G_2 和锚杆抗拔力 G_3 等因素,即

$$\sum G_i = G_1 + G_2 + G_3 \quad (3)$$

当取水泵房的结构尺寸确定时,泵房结构自重 G_1 、泵井底板外挑部分及泵井内机组间底板上填料配重 G_2 亦得到相应确定。锚杆抗拔力 G_3 取决于锚杆的孔径、数量、有效锚固长度以及灌注水泥砂浆与锚固岩石间的黏结强度。锚杆抗拔力 G_3 按式(4)计算:

$$G_3 = nP \quad (4)$$

式中: n 为锚杆数,根; P 为单根锚杆抗拔力特征值,kN。

单根锚杆抗拔力特征值 P 按式(5)计算:

$$P \leq 0.8\pi d_1 L f_1 \quad (5)$$

式中: P 为单根锚杆抗拔力特征值,kN; d_1 为锚杆孔直径,mm; L 为锚杆的有效锚固长度,mm; f_1 为砂浆与岩石间的黏结强度特征值,kN/mm²。

条件许可时,单根锚杆抗拔力 P 应进行现场岩石锚杆抗拔试验,根据试验结果确定。资料缺乏时,初步设计阶段可按式(5)确定,但施工时应进行现场岩石锚杆抗拔试验复核^[10]。

砂浆与岩石间的黏结强度特征值 f_1 可由试验确定。当缺乏试验资料时,可根据 GB 50007-2011 中“砂浆与岩石间的黏结强度特征值表”^[11]查表确定。

2.2.2 计算结果

2.2.2.1 取水泵房所受浮力

最高洪水位时, $H_1 = 380.30 - 356.50 + 1.0 = 24.80$ m;泵房圆形底板直径为 19.00 m,底板面积 $A = 283.39$ m²;则取水泵房所受浮力 $F = AH_1\gamma_w = 70\,279.48$ kN。

2.2.2.2 抗浮力总和

$$\sum G_i = FK_{sf} = 73\,793.45 \text{ kN}$$

2.2.2.3 锚杆抗拔力

根据泵房结构布置图的设计尺寸和工程材质,求得泵房结构自重 $G_1 = 53\,863.61$ kN;泵井底板外挑部分及泵井内机组间底板上填料配重 $G_2 = 6\,253.05$ kN;锚杆抗拔力 $G_3 = \sum G_i - G_1 - G_2 = 13\,676.79$ kN。

2.2.2.4 泵房抗浮稳定计算成果

泵房抗浮稳定计算成果见表 3。

表 3 泵房抗浮稳定计算成果

计算洪水位 H_1 / m	底板面积 A / m ²	浮力 F / kN	结构自重 G_1 / kN	配重 G_2 / kN	锚杆抗拔力 G_3 / kN	抗浮力总和 $\sum G_i$ / kN	抗浮稳定抗 力系数 K_{sf}
24.80	283.39	70 279.48	53 863.61	6 253.05	13 676.79	73 793.45	1.05

2.2.3 锚杆计算

2.2.3.1 单根锚杆抗拔力

抗拉拔锚杆拟在整个泵井底板范围内采取环形布置的方式,锚杆间距 1.50 m,共布置锚杆数量 n 为 132

根。按式(4)求得单根锚杆抗拔力 P 为:

$$P = \frac{G_3}{n} = 103.61 \text{ kN} \quad (6)$$

2.2.3.2 单根锚杆的截面面积

单根锚杆的截面面积 A_g 按式(7):

$$A_g = \frac{P}{f_y} \quad (7)$$

式中: f_y 为锚杆的抗拉强度设计值,取 0.30 kN/mm^2 ; 当 $P = 103.61 \text{ kN}$ 时,求得 A_g 为 345.37 mm^2 。

锚杆选用 HRB 335 级钢筋,锚杆直径 d 取 22.00 mm ,单根锚杆截面面积 A_g 取 379.94 mm^2 ,锚杆孔

孔径取 $d_1 = 75.00 \text{ mm}$ 。

2.2.3.3 锚杆有效锚固长度及锚固深度

由 $P \leq 0.8\pi d_1 L f_1$, 当取 $d_1 = 75.00 \text{ mm}$, $f_1 = 0.3 \times 10^{-3} \text{ kN/mm}^2$ 时,求得锚杆有效锚固长度 $L \geq 1833.00 \text{ mm}$; 取锚固深度 $L_1 = 2000.00 \text{ mm}$ 。

2.2.3.4 锚杆计算成果

锚杆计算成果见表 4。

表 4 锚杆计算成果

锚杆数量 n / 根	单根锚杆抗拔 力 P / kN	锚杆直径 d / mm	锚杆孔孔径 d_1 / mm	砂浆与岩石间的黏 结强度特征值 f_1 / ($\text{kN} \cdot \text{mm}^{-2}$)	锚杆的抗拉强 度设计值 f_y / ($\text{kN} \cdot \text{mm}^{-2}$)	锚固深度 L_1 / mm
132.00	103.61	22.00	75.00	0.30×10^{-3}	0.30	2000.00

2.2.4 锚杆布置

2.2.4.1 锚杆布置原则及构造要求

1) 场地条件。锚杆锚固场地要求基岩坚固完整、岩层较厚,具备施工条件。

2) 锚杆布置。锚杆应均匀布置在泵房底板下壁板轴线位置或在整个底板下均匀设置(图 5)。

3) 锚杆杆体形状及直径。锚杆一般采用螺纹钢筋,

伸入底板的一端带弯钩;锚杆直径 d 一般不小于 22 mm 。

4) 锚杆锚固深度。锚杆于基岩的锚固深度应根据计算确定,一般不宜小于 1 m 且不得少于 $40 d$; 锚杆杆体伸入泵房底板的锚固长度不小于 $35 d$ 。

5) 锚杆孔孔径与间距。锚杆孔孔径 d_1 一般为 $3 d$ 且不小于 $d + 50 \text{ mm}$; 锚杆孔中心距不小于 $6 d_1$ (图 6)。

取水泵房底板锚杆布置见图 7。

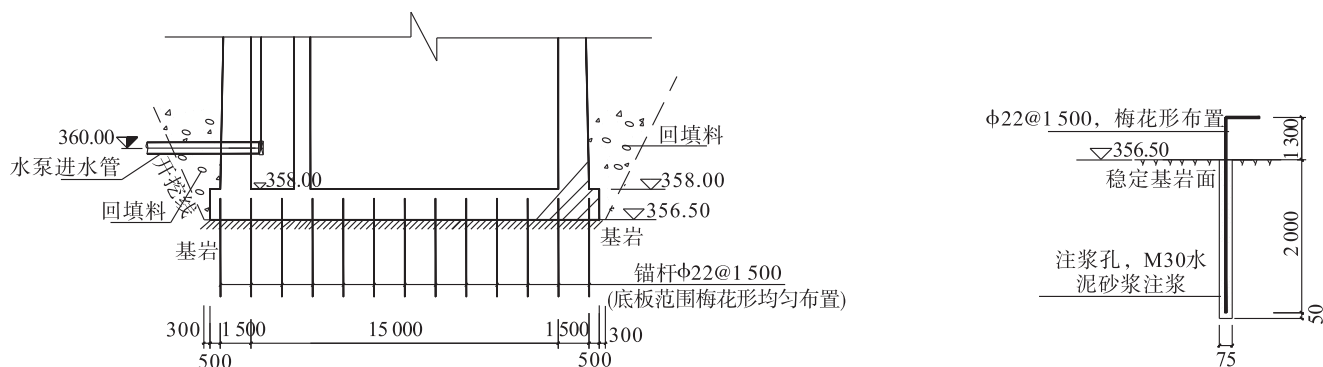


图 7 取水泵房底板锚杆布置图(标高单位:m,尺寸单位:mm)

2.2.4.2 锚杆一般施工工序

1) 锚杆孔的测放与成孔。根据控制点和锚杆设计布置图进行锚杆孔的孔位测放及标记,按锚杆设计孔径、设计锚固深度要求钻机成孔。锚杆钻孔孔位的允许偏差为 50 mm , 钻孔倾角的允许偏差为 3° 。

2) 清孔。终孔后利用高压空气清除孔内余渣,将锚杆孔清理干净。

3) 锚杆制作及置入。按照设计要求的材质及长度制作锚杆杆体并做好除锈、除油污处理。清孔完毕后将锚杆垂直插入孔底并固定于锚孔中央。

4) 压力注浆。注浆采用的水泥砂浆强度不宜低于 M 30, 水灰比宜取 $0.40 \sim 0.45$; 采用细石混凝土时强度不宜低于 C 30。注浆管端距孔底的距离不宜大于 200 mm , 注浆及拔管的过程中注浆管口应始终埋入注浆

液面内,并在浆液从孔口溢出且溢出的浆液与注入的浆液浓度相同时方可停止注浆,注浆后浆液面下降时应在孔口补浆。

2.2.4.3 锚杆检验要求

1) 锚杆施工完成后,应按照 GB 50007 - 2011 中“检验与监测”章节的相关规定进行锚杆抗拔承载力试验。同一场地同一岩层中的锚杆,试验数量不得少于总锚杆的 5% , 且不应少于 6 根。

2) 试验采用分级加载,荷载加载不得少于 8 级,试验的最大加载量不应少于锚杆设计荷载的 2 倍。

3) 将锚杆极限承载力除以安全系数 2 为锚杆的抗拔承载力特征值。

4) 当检验发现岩石锚杆的抗拔承载力不满足设计要求时,应结合工程场地地质和施工情况综合分析,必

要时应扩大检验数量并提出处理措施。

5) 锚杆检验其余要求见 GB 50007-2011 附录 M。

3 结论

1) 河岸式取水泵房的抗浮稳定设计是泵房设计的一个重要环节。当泵房尺寸较大, 水位较高时, 泵房的抗浮稳定往往是设计的主要控制因素。

2) 锚杆锚固抗浮稳定方式的工程特点和作用机理。在位于泵井整个底板基础下面的基岩部位, 均匀埋设抗拉锚杆, 泵井的钢筋混凝土底板与底板下的稳定基岩通过锚杆锚固成整体结构, 利用锚杆的抗拉拔力提高泵房的抗浮稳定。

3) 锚杆锚固抗浮稳定方式的适用场地。比较适用于构筑物临水面水位较高或构筑物地下室的地下水位较高的情况; 对基坑基底岩土条件来讲, 适用于基岩较完整、坚固且岩层较厚的场地。

4) 抗拉锚杆抗浮稳定的主要设计要点。首先, 确定泵房所受浮力、所需的总抗浮力以及锚杆抗拔力; 其次, 确定单根锚杆抗拔力、单根锚杆的直径和截面面积; 再次, 确定单根锚杆孔径和锚杆有效锚固长度。条件许可时, 单根锚杆抗拔力应进行现场岩石锚杆抗拔试验, 根据试验结果确定。

5) 锚杆施工完成后, 应按照 GB 50007-2011 中“检验与监测”章节的相关规定进行锚杆抗拔承载力试验检验。

参考文献:

- [1] 袁 鹏, 高振中, 杨桂明. 元坝气田取水泵站成功受电[EB/OL]. [2014-06-16]. http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2014-06/16/content_1418562.shtml.
Yuan Peng, Gao Zhenzhong, Yang Guiming. Yuanba Gas Field Water Intake Pump-station Has Been Energized Successfully [EB/OL]. [2014-06-16]. http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2014-06/16/content_1418562.shtml.
- [2] 《给水排水工程结构设计手册》编委会. 给水排水工程结构设计手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 1087-1090.
Editorial Board of Design Manual for Water Supply and Drainage Engineering. Design Manual for Water Supply and Drainage [M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007: 1087-1090.
- [3] 朱 荣, 林栋梁, 魏学英. 元坝净化厂取水泵房主体成功封顶[EB/OL]. [2013-08-15]. http://www.sinopecnews.com.cn/b2b/content/2013-08/15/content_1326802.shtml.
Zhu Rong, Lin Dongliang, Wei Xueying. Yuanba Purification Plant Water Intake Pump-house Has Been Completed Successfully [EB/OL]. [2013-08-15]. http://www.sinopecnews.com.cn/b2b/content/2013-08/15/content_1326802.shtml.
- [4] GB 50265-2010, 泵站设计规范[S].
GB 50265-2010, Design Code for Pumping Station[S].
- [5] 张明义, 张 健, 刘俊伟, 等. 中风化花岗岩中抗浮锚杆的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(增刊): 2741-2746.
Zhang Mingyi, Zhang Jian, Liu Junwei, et al. Experimental Investigation on Anti-floating Anchor in Moderately Weathered Granite[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(Suppl): 2741-2746.
- [6] 张 燕, 高 鹏, 陈 聪. 抗浮锚杆在某工程中的应用[J]. 青岛理工大学学报, 2007, 28(6): 132-135.
Zhang Yan, Gao Peng, Chen Cong. Application of Anti-floating Anchor in an Engineering[J]. Journal of Qingdao Technological University, 2007, 28(6): 132-135.
- [7] 谭孟云, 宋晓萍. 抗浮岩石锚杆在某工程中的施工实践[J]. 中国勘察设计, 2005, 21(11): 50-51.
Tan Mengyun, Song Xiaoping. The Construction Practice of Anti-floating Rock Bolt in an Engineering[J]. China Investigation & Design, 2005, 21(11): 50-51.
- [8] 陈后中. 岩石锚杆在基坑抗浮中的应用[J]. 城市建筑, 2013, 10(22): 157-158.
Chen Houzhong. Application of Rock Bolt in Foundation Pit Anti Floating[J]. Urbanism and Architecture, 2013, 10(22): 157-158.
- [9] 蔡耿民. 抗浮锚杆设计与施工质量控制[J]. 城市建设, 2010, 3(11): 158-159.
Cai Gengmin. Design and Construction Quality Control for Anti-floating Anchor [J]. China City Construction, 2010, 3(11): 158-159.
- [10] 国振喜, 曲昭嘉. 建筑地基基础设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 1059-1060.
Guo Zhenxi, Qu Zhaojia. Design Manual for Building Foundation [M]. Beijing: China Machine Press, 2008: 1059-1060.
- [11] GB 50007-2011, 建筑地基基础设计规范[S].
GB 50007-2011, Code for Design of Building Foundation [S].