

中澳岩土工程标准中水土腐蚀性评价的差异研究

马文艳¹ 胡义生²

1. 上海津旭电力设计有限公司, 上海 200433
2. 上海电力设计院有限公司, 上海 200025

[摘要] 水土腐蚀性影响混凝土结构及结构中的钢筋、钢结构的耐久性、安全性, 对建筑、节水改造工程、地基基础施工等多方面都具有重要影响。对比中澳规范水土腐蚀性评价的异同, 理解不同国家的侧重点。

[关键词] 规范; 标准; 腐蚀性评价; 耐久性

DOI: 10.33142/ec.v7i12.14527 中图分类号: TU195 文献标识码: A

Study on the Differences in Soil and Water Corrosivity Evaluation in Chinese and Australian Geotechnical Engineering Standards

MA Wenyan¹, HU Yisheng²

1. Shanghai Jinxu Electric Power Design Co., Ltd., Shanghai, 200433, China
2. Shanghai Electric Power Engineering Co., Ltd., Shanghai, 200025, China

Abstract: The corrosiveness of water and soil affects the durability and safety of concrete structures and steel bars and structures, and has important impacts on various aspects such as construction, water-saving renovation projects, and foundation construction. Compare the similarities and differences in soil erosion assessment standards between China and Australia, and understand the emphasis of different countries.

Keywords: standardization; standard; corrosion assessment; durability

引言

地下水对混凝土结构的腐蚀性评价, 对基础设计等影响重大。氢氧化物和碳酸盐中的铁、锰和钙沉淀物会阻塞排水系统, 酸度升高, 氯化物或硫酸盐浓度升高, 会导致耐久性问题。因结构的腐蚀性受外部环境、腐蚀介质、设计条件等因素的影响, 澳大利亚将水土对结构的腐蚀性判别指标列入了相关结构设计规范中, 采用暴露分级来表征, 在岩土场地勘察规范 AS 1726 中则没有相关的规定。而我国标准要求勘察阶段考虑环境类型、地层渗透性和结构浸水等因素的影响, 采用腐蚀等级来评价水土对混凝土结构、钢结构、混凝土结构中钢筋等的腐蚀性。

1 中澳标准

表 1 中澳水土腐蚀性相关技术标准

中国标准	澳大利亚标准
《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001) (2009 年版)	AS2870—2011 residential slabs and footings (住宅楼板及基础)
《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476—2019)	AS2159—2009 piling-design and installation (桩基设计及装配)
《盐渍土地区建筑技术规范》(GB/T 50942—2014)	
《接地网土壤腐蚀性评价导则》(DL/T1554—2016)	

2 水土腐蚀性相关规定

我国涉及水土腐蚀性评判的标准很多, 本文针对几本常用评价腐蚀性规范。

2.1 适用范围

我国各规范体系基于各部门考虑到不同构筑物功能、用途、环境等条件不一而编制。澳标规范多以设计角度出发编制。

《岩土工程勘察规范》: 适用于除水利、铁路、公路、桥隧工程以外工程, 对应的《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB 50046—2008) 适用于工业建筑物和构筑物防腐蚀设计^[1]。

《混凝土结构耐久性设计标准》: 适用范围较广, 除房屋建筑、一般构筑物外, 还涵盖城市市政基础设施工程, 如桥隧、地铁、轻轨、管道等^[2]。

《盐渍土地区建筑技术规范》: 适用于盐渍土地基^[4]。

《接地网土壤腐蚀性评价导则》: 适用于电力系统中发电厂、变电站的交流钢质接地网土壤腐蚀性评价。其他埋地金属的土壤腐蚀性评价可参照执行^[3]。

AS 2870—2011: 浅基础位于盐碱土、硫酸盐土中^[5]。
AS 2159—2009: 对混凝土桩采用相对统一的腐蚀性评价依据^[6]。

2.2 环境类型

《岩土工程勘察规范》: 环境类型为场地环境类型, 其依据气候区 (高寒区、干旱区) 及含水层渗透性 (强透

水层、弱透水层)划分为 I、II、III类^[1]。

《混凝土结构耐久性设计标准》:环境类型为混凝土结构暴露环境,按劣化机理划分为 I(一般环境)、II(冻融环境)、III(海洋氯化物环境)、IV(除冰盐等其他氯化物环境)、V(化学腐蚀环境)^[2]。

《盐渍土地区建筑技术规范》:环境类型为使用环境,按环境变化、淡水侵蚀防范划分为 A类、B类^[4]。

《接地网土壤腐蚀性评价导则》:规范内仅有腐蚀环境定义,未进行环境类型划分^[3]。

AS 2870—2011:主要针对盐碱土、硫酸盐土中的混凝土结构提出了评判标准,未进行环境类型划分^[5]。

AS 2159—2009:当桩基础位于水中或弃料堆时,需

要依据暴露环境条件对腐蚀性等级进行评判^[6]。

以上可看出,澳标 AS 2870—2011 偏向于含盐地基土,与我国的《盐渍土地区建筑技术规范》(GB/T 50942—2014)较为贴近;澳标 AS2159—2009 桩基础水土腐蚀性判别依据环境条件,与《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476—2019)的 I~IV类环境作用等级划分较为类似。

2.3 评判依据及等级划分

由上表可见,我国针对水土腐蚀性判别不同规范侧重点均不同,差异性显著。勘察规范、盐渍土规范侧重腐蚀性介质,耐久性设计标准则从结构构件所处的暴露环境条件及腐蚀性介质等多方面综合考虑,以构件所处的环境类别进行判别设计^[7]。

表 2 水土腐蚀性判据及等级(中国标准)

中国标准	混凝土暴露环境类别	腐蚀对象	腐蚀判据	腐蚀性等级
岩土工程勘察规范 GB 50021—2001 (2009 年版)	依据气候、海拔、有无干湿交替及含水层渗透性划分为 I、II、III 类	混凝土结构	环境类别、硫酸盐含量、镁盐含量、铵盐含量、苛性碱含量、总矿化度、地层渗透性、PH 值、侵蚀性 CO ₂ 含量、碳酸氢根含量	微、弱、中、强
		钢筋混凝土结构中钢筋	浸水条件、氯离子含量	
		钢结构	PH 值、氧化还原电位、视电阻率、极化电流密度、质量损失	
混凝土结构耐久性设计标准 GB/T 50476—2019	I (一般环境)	配筋混凝土结构	环境条件(干燥、长期浸水、干湿交替、潮湿、露天)	I-A(轻微)、I-B(轻度)、I-C(中度)
	II (冻融环境)	混凝土结构	混凝土饱水程度、含盐环境、气候环境(微冻、严寒及寒冷)	II-C(中度)、II-D(严重)、II-E(非常严重)
	III (海洋氯化物环境)	配筋混凝土结构	环境条件(水下、土中、大气区、盐雾程度、炎热区、潮汐及浪溅区)	III-C(中度)、III-D(严重)、III-E(非常严重)、III-F(极端严重)
	IV (除冰盐等其他氯化物环境)	配筋混凝土结构	冰盐溅射程度、氯离子浓度、盐雾作用、是否干湿交替	IV-C(中度)、IV-D(严重)、IV-E(非常严重)
	V (化学腐蚀环境)	混凝土结构	环境类别(是否干旱或高寒区)、硫酸盐含量、镁盐含量、PH 值、侵蚀性 CO ₂ 含量	V-C(中度)、V-D(严重)、V-E(非常严重)
盐渍土地区建筑技术规范 GB/T 50942—2014	/	砌体结构、水泥、石灰	硫酸根含量、氯离子含量、镁盐含量、铵盐含量、总矿化度、侵蚀性 CO ₂ 含量、埋置条件(全浸、干湿交替、干燥或潮湿、有无蒸发面)、土中总含盐量、PH 值	微、弱、中、强
接地网土壤腐蚀性评价导则 DL/T 1554—2016	/	埋地金属	单指标评价(碳钢腐蚀速率、点蚀速率、土壤电阻率、氧化还原电位)、多指标评价(土壤类型、土壤状况、土壤电阻率、含水量、PH 值、总酸度、氧化还原电位、总碱度、硫化氢及硫化物、煤粉或焦炭粉、氯离子、硫酸盐总量)等	微、弱、中、强

表 3 水土腐蚀性判据及等级(澳大利亚标准)

澳大利亚标准	腐蚀对象	腐蚀判据	腐蚀性等级
AS 2870—2011	盐碱土中混凝土结构	饱和萃取电导率(EC _e)	A1、A2、B1、B2
	硫酸盐土中混凝土结构	土层渗透性及地基土浸水条件、硫酸盐含量、PH 值	A1、A2、B1、B2、C1、C2
AS 2159—2009	水中的混凝土桩	海水(淹没、潮汐及浪溅)、淡水	轻微、中等、严重
	弃土堆中的混凝土桩	生活垃圾、工业废料	严重、非常严重
	土中的混凝土桩	土层渗透性及地基土浸水条件、硫酸盐含量、PH 值、氯离子含量	无侵蚀性、轻微、中等、严重、非常严重

注:(1)饱和萃取电导率(CE_e):土和水混合物的电导率,单位 ds/m。

澳大利亚标准水土腐蚀性评价统一，浅基础、深基础自结构本身出发，总结对构件较为重要的因素进行评判，勘察阶段一般仅能初步评价暴露等级，设计方案时结合构件所处环境条件、与腐蚀介质接触关系等，确定腐蚀等级进行相应设计。

2.4 腐蚀性等级量化指标

各标准对同一腐蚀性介质，量化数值存在一定差异性，下列以硫酸根离子为例证。见表4。

3 工程案例

3.1 项目概况

某变电站项目位于广西南宁兴宁区，拟建构筑物基本位于山顶，地势高抗，需判断地基土对结构的腐蚀性。勘探深度内地层主要由第四系坡残积(Q₄^{dl+el})硬塑粉质黏土；寒武系第二段(E^b)泥质粉砂岩、砂岩；寒武系第一段(E^a)泥质粉砂岩组成。勘测期间取2组土样进行易容盐分析试验，成果见表5。

表5 易容盐分析试验成果表

样品编号	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	OH ⁻	PH
T1	16.1	55.6	2336.7	266.7	102.4	0	6.2
T2	13.8	44.2	2326.2	326.2	87.8	0	5.6

表4 土中SO₄²⁻(mg/kg)量化指标

标准名称	环境条件	腐蚀性分级					
		微	弱	中	强		
GB50021-2001	/	<300	300~750	750~2250	>2250	/	
	I	<450	450~2250	2250~4500	>4500		
	II	<750	750~4500	4500~9000	>9000		
	III						
GB/T50476-2019	/	轻微	轻度	中度	严重	非常严重	极端严重
	非干旱高寒区	/		300~1500	1500~6000	6000~15000	
	干旱高寒区	/		300~750	750~3000	3000~7500	
AS2870-2011	/	A1	A2	B1	B2	C1	C2
	强渗透地层	<5000	5000~10000	10000~20000	>20000	/	
	弱渗透地层	<5000	5000~10000	10000~20000	>20000		
AS2159-2009	/	无侵蚀性	轻微	中等	严重	非常严重	/
	强渗透地层	/	<5000	5000~10000	10000~20000	>20000	
	弱渗透地层	<5000	5000~10000	10000~20000	>20000	/	

注：澳大利亚标准中离子单位 ppm。1ppm=1mg/kg。

表6 场地土腐蚀性判定表

评价类型	类别	腐蚀介质	测试值	评价标准	腐蚀等级	综合评价
混凝土结构	环境类型	III	SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	2326.2-2336.7	750~4500	弱腐蚀
		III	Mg ²⁺ (mg/kg)	44.2-55.6	<4500	微腐蚀
	地层渗透性	B	PH值	5.6-6.2	>5.0	微腐蚀
钢筋砼结构中的钢筋	A	Cl ⁻ (mg/kg)	266.7-326.2	<400	微腐蚀	微腐蚀

3.2 腐蚀性评价差异

3.2.1 岩勘规范评价结论

根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009年版)表G.0.1,土腐蚀性评价时场地环境类型可划为III类,按地层渗透性硬塑粉质黏土为B类,按对混凝土结构中钢筋的划分标准硬塑黏性土为A类,判别过程见表6。

经判别:场地地基土对混凝土结构具有弱腐蚀,对钢筋混凝土结构中的钢筋具有微腐蚀性。

3.2.2 耐久性标准评价结论

根据《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476—2019)表7.2.1,项目区属于非干旱高寒区,按干湿交替环境评判过程见表7。

表7 场地土腐蚀性判定表

评价类型	腐蚀介质	测试值	评价标准	腐蚀等级
混凝土结构构件	SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	2326.2-2336.7	1500~6000	V-D(严重)

经判别:弱透水地基土降低一级考虑,场地地基土对混凝土结构具有V-C(中度)腐蚀性。

3.2.3 澳大利亚标准评价结论

依据澳标AS 2159—2009表6.4.2,按场地为含盐土考虑,其评判过程见表8。

表 8 场地土对混凝土、混凝土桩暴露分级评判表

地层渗透性	腐蚀介质	测试值	评价标准	暴露分级	
				混凝土	混凝土桩
B	SO ₄ ²⁻ (ppm)	2326.2~2336.7	<5000	A1	无侵蚀性
	PH	5.6~6.2	>5.5	A1	无侵蚀性

注：澳大利亚标准中离子单位 ppm。1ppm=1mg/kg。

经判别：场地地基土对混凝土桩不具侵蚀性。

按设计使用年限 50 年考虑，岩勘对标工业防腐设计标准，最低混凝土强度 C30，混凝土保护层最小厚度 30mm（面形构件）、35mm（条形构件）、50mm（基础及其他）；耐久性标准最低混凝土强度 C40，混凝土保护层最小厚度 35mm（面形构件）、40mm（条形构件）；澳洲标准基础 f_c（混凝土最小设计强度）=20MPa、现浇桩 f_c=25MPa、预制及预应力桩 f_c=50MPa，混凝土保护层最小厚度 40mm（基础）、45mm（现浇桩）、20mm（预制及预应力桩）。

4 结论及建议

我国各规范对环境类型、作用等级、腐蚀性等级划分标准不一，腐蚀性分级界限数值也有所差异，各专业侧重于各自的专业进行量化评价，导致当腐蚀环境越严重时，同一场区不同规范评判结论差异越大，设计差异越大^[8]。

澳标对混凝土结构腐蚀性的考虑不仅仅局限在勘察时获得的试验指标上，同时强调全生命周期内的腐蚀条件变化。相对来讲，以浅基础、深基础两个方面，统一评判标准，简洁实用。但相对于我国各行各业的腐蚀性评判条件来讲，较为简单粗暴。

随着国家“一带一路”战略的推进，应该不仅局限于“走出去”战略，首先我国各专业自身应打破壁垒，将各

专业融合，建立一套以耐久性设计为理念、完整统一的水土腐蚀性评价标准。以耐久性设计标准为基础，多以设计角度出发，完善腐蚀性判据及等级划分，将勘察、设计规范协调统一。

【参考文献】

- [1]GB50021-2001(2009 年版)岩土工程勘察规范[S]北京：中国建筑工业出版社,2009.
 - [2]GB/T50476-2019 混凝土结构耐久性设计标准[S]北京：中国建筑工业出版社,2019.
 - [3]DL/T1554-2016 接地网土壤腐蚀性评价导则[S]北京：中国电力出版社,2016.
 - [4]GB/T50942-2014 盐渍土地区建筑技术规范[S]北京：中国计划出版社,2014.
 - [5]AS2870-2011 residential slabs and footings. Published by SAI Global[S]. Limited under licence from Standard Australia Limited.
 - [6]AS2159-2009 piling-design and installation. Published by SAI Global[S]. Limited under licence from Standard Australia Limited.
 - [7]李飏,曹益明.不同规范对地下水腐蚀性评价的异同及应用[J].地质环境,2016(1):1.
 - [8]李清明,黄蜀红.耐久性设计下水土腐蚀性评价体系的一种解决方案[J].工程地质学报,2016(1):1.
- 作者简介：马文艳（1986.7—），女，毕业院校：长安大学，学历：硕士，专业：地质工程，目前就职单位：上海津旭电力设计有限公司，职位：项目经理，目前职称：工程师。