

水源水质预警系统的研究开发及在保障奥运供水 水质安全中的应用

徐揚 周大農 張素霞 顧軍農 陳有軍 王璐

(北京市自來水集團有限責任公司 北京 100085)

陳勇生 高顧誠

(北京格威恩科技有限公司 北京 100044)

摘要

通过调研国内外水源水质预警技术，并分析了密云水库本底污染物质特征，该水源水质预警系统引入了藻类和毒性物质的快速检测方法，建立了一套由藻类分类检测仪和发光菌毒性检测仪、鱼类毒性检测仪、常规参数检测仪组成的水源水质预警系统，将以上四套检测仪进行整合，数据实时传输到水厂中心控制室，实现了在线连续检测。此套系统在北京奥运会召开前投入使用，为保障奥运供水水质安全提供了一项强有力的技术保障措施，并发挥了积极作用。

关键词：水源水质，预警系统，毒性，在线检测

一、前言

爲了實現對原水即時跟蹤監測分析，確保北京奧運會召開期間城市供水水質安全，針對北京水源特點，建立一套靈敏、快速的水質指標線上自動監測系統，同時，該系統應涵蓋常規水質參數、特徵污染物參數和生物毒性參數，應能對水源水質事故和人爲破會等突發性時間作出預警，這成爲北京市自來水集團的急迫需求。在北京市科委的立項研究支持下，北京市自來水集團同北京格威恩科技有限公司合作，充分借鑒歐美等發達國家的經驗，以密雲水庫爲水源，研究開發了

水源水質預警系統。

二、原水水質特徵

密雲水庫的水質指標大致都介於 I 類和 II 類水體之間，只是高錳酸鹽指數和氨氮在汛期與非汛期有所不同，高錳酸鹽指數和氨氮在汛期均要高於非汛期，這與汛期來水量較大，入庫河流的帶入量較大，夏季水體溫度較高，有利於浮游動物和浮游植物的生長有關。重金屬元素砷、汞、鉻、鎳、銅、鉛和鋅含量相對都比較低，均達到了國家地表水飲用水的 I 類標準。密雲水庫總體水質評價爲 II 類水體，符合國家飲用水源地水質

標準。歷史水質資料顯示，密雲水庫的主要特徵污染物是藻類，而且藻的種類比較複雜。不同時期，各種藻所占比例也不同，以下是2003年各類藻的統計資訊：

三、檢測原理

3.1 藻類的分類檢測

藻類的分類檢測是利用藻類自身的螢光特性和不同的藻類其葉綠素-a 螢光特性不同原理，通過檢測水體中葉綠素-a 的濃度，再經過軟體計算轉化得到水體中的藍、綠、矽、棕藻及總藻含量。螢光就是無論外激勵光的波長是多少，藻吸收後將其轉化成一特定波長的光（685 納米），藻類在受到外來光刺激時，將刺激光的能量轉化為光合作用能量、螢光和發熱，其中螢光很容易被檢測到。該系統檢測設備選擇了 325 納米、450 納米、525 納米、570 納米、590 納米和 610 納米六種不同波長的激勵光對藻類進行刺激。其中 325 納米是用來補償黃色物質（有機物），對計算的葉綠素進行校準，另外幾個波長就是為了定量分析不同藻類。

3.2 發光菌毒性檢測

發光菌毒性檢測基於發光細菌相對發光度與水樣毒性組分總濃度在一定條件下呈顯著反比的原理，通過光度計測定發光菌在加入水樣前後的相對發光度，以此表示水中的急性毒性水準。該系統中選用了一種叫費希爾弧菌的海洋生物發光菌，該細菌在進行新陳代謝時會發光，若正常代謝被抑制就會導致發光強度減弱。毒性物質能抑制甚至阻止其正常代謝，毒性越強對其代謝的抑制作用就越強，發光被抑制的越厲害，該發光菌對 2000 餘種不同類型的化學物質具有敏感反應。

為驗證以上標準和給應急預案積累資料資料，我們選定了部分化學污染物，分別

以其一倍、十倍、百倍國標規定限值濃度進行了毒性檢測。檢測模式為 45%中毒 5-min 模式，每個水樣檢測 3 次取平均值，並做空白扣除。

由試驗結果可知，污染物濃度較高時（100 倍國標限值）毒性監測系統對多數化合物有回應。其中對六價鉻，鉛，P, P' -DDT, P, P' -DDE 有很高的敏感度，同時與化合物的濃度也有很好的相關性。與三倍背景值或者 45%中毒 5-min 模式下 20%光損失兩種限值方法都吻合的很好。因此可以很好的實現給水系統生物預警的作用。

3.3 魚類毒性檢測

魚類毒性檢測是以魚為探測生物，通過檢測魚遮擋光柵欄的頻率來監測魚的遊動強度。監測結果給出每分鐘每條魚遮擋次數，活性值就是光線每分鐘被阻擋的次數除以魚的數量。當監測結果在某一時段低於某給定限值時，報警驗證系統啟動。停留在池底部和漂浮在水面不遊動的魚也被記錄，該檢測方法主要針對突發事件或有害物質造成的水體嚴重污染。魚類毒性檢測中魚的選擇非常重要，通過對五種魚的試驗，結果表明長度 5cm 左右的小金魚可作為密雲水庫水質毒性的指示生物。

3.4 常規水質參數檢測

常規水質參數檢測是利用不同化學物質對不同波長的吸收強度不同，特定的化學物質對特定波長的光吸收性強。特別是硝酸鹽、亞硝酸鹽、芳香烴類物質、渾濁度、色度、有機碳含量等對不同波長的吸收不同，它們的敏感波長在 200-750 納米之間。如果只用 254 納米的波長照射，只能獲得比較少化學物質的作用。而用多波長掃描，則可以得到不同波長的吸收譜，該譜能清晰地反映出水中相當大一類物質的分佈。系統中選擇

了濁度，硝氮，TOC 和 DOC 作為水質指標進行監測，硝氮的主要檢測範圍是從 200 納米到 250 納米，TOC 和 DOC 的檢測範圍是 250 納米到 400 納米，而濁度是從 200 納米到 750 納米均有吸收的。

四、系統構建

通過對密雲水庫水質演變規律和密雲水庫周邊可能的污染源的研究，以及對各種人為破壞水源水質的分析，找出了帶有典型特徵的水質參數，引入了快速檢測方法，構建了一套由水源水質現場快速檢測設備、檢測資料傳輸以及檢測資料分析預警管理的水源水質預警系統。

4.1 檢測設備

整個水質預警系統的水質檢測設備由藻類分類檢測儀和發光菌毒性檢測儀、魚類毒性檢測儀、常規參數檢測儀組成，將四套設備整合安裝到設備櫃中，水、電及信號線統一佈置，見下圖。

4.2 資料獲取和通信傳輸

資料獲取系統採用了嵌入式觸控式螢幕式，一體化工控機。工控機與感測器採用 USB 介面，在工控機上運行專用的分析軟體，並得到分析結果的參數。資料的本地傳輸採用 INTRANET 局域網方式連接。在現場單獨走線，由觸控式螢幕式工控機的網路介面連接網線，傳輸到 RTU 控制器，最終以無線遠端的方式完成向中控室的資料傳輸。

4.3 軟體系統框架結構

系統採用三層結構，第一層是表現層（使用者介面），提供使用者與系統的友好訪問；第二層是應用服務層，負責業務邏輯的實現；第三層是資料服務層，負責地質環境

監測資料資訊的存儲、訪問及其優化。由於系統模組化，使得系統很容易在縱向和水準兩個方向拓展：一方面可以將系統升級為更大、更有力的平臺，同時也可以適當增加規模來增強系統的網路應用。

4.4 系統軟體及預警值級別設定

進入水源水質預警系統軟體後，將自動顯示水質監測介面此介面中顯示各個被監測參數的紅色預警值、黃色預警值及即時檢測值。此外，預警軟體還有定時段歷史水質資料查詢、追查歷史報警值、預警值的修訂及水質資料趨勢分析等功能。

五、在保障奧運供水水質安全

中的應用

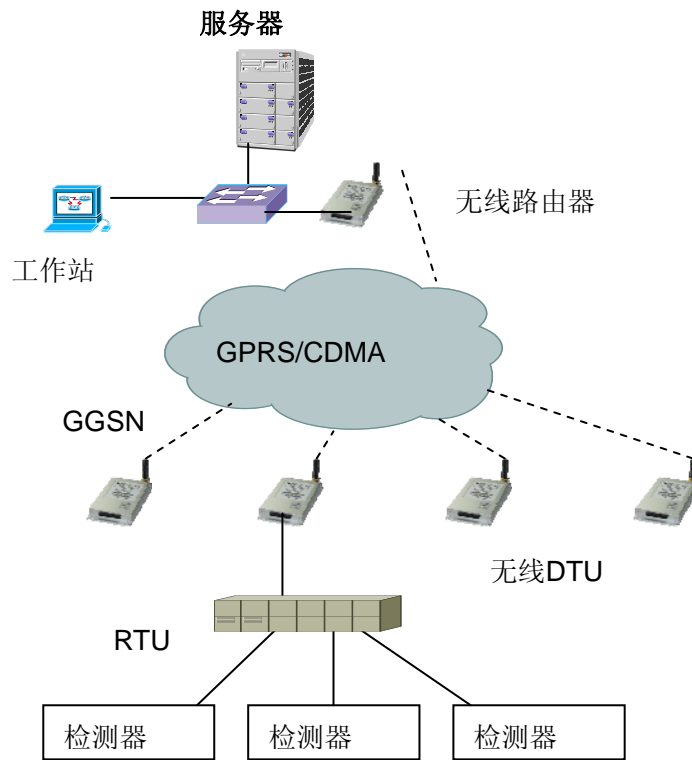
專案研究中發現密雲水庫藻類呈現逐年上升的趨勢，並且藻類爆發及死亡引發水中臭味物質升高；快速檢測水中有機物濃度變化是有效預知水源水質變化的必要措施；各種人為破壞水源水質的事件一般都可在水中毒性變化上得到反應。該系統的建立為及時發現污染事故的污染源，提前採取措施贏得了寶貴的時間；保證了城市的日常供水安全和可持續發展；可有效迅速獲悉重大水污染事故的發生，減少事故造成的損失；為水廠的科學、高效運行，優化水處理工藝提供了基礎資料。

北京奧運會和殘奧會已經成功舉辦，北京市自來水集團的奧運供水保障也圓滿地完成了各項任務，但是在奧運會召開前，北京社會各界防止恐怖分子破壞的工作異常嚴峻，並曾有人揚言對北京城市供水水源進行破壞，而此套水源水質預警系統的及時投入使用無疑對北京供水安全提供了一層保障，使我們能時刻掌握水源水質變化情況，為工藝優化調整及突發事件下採取應對措施贏得了時間。

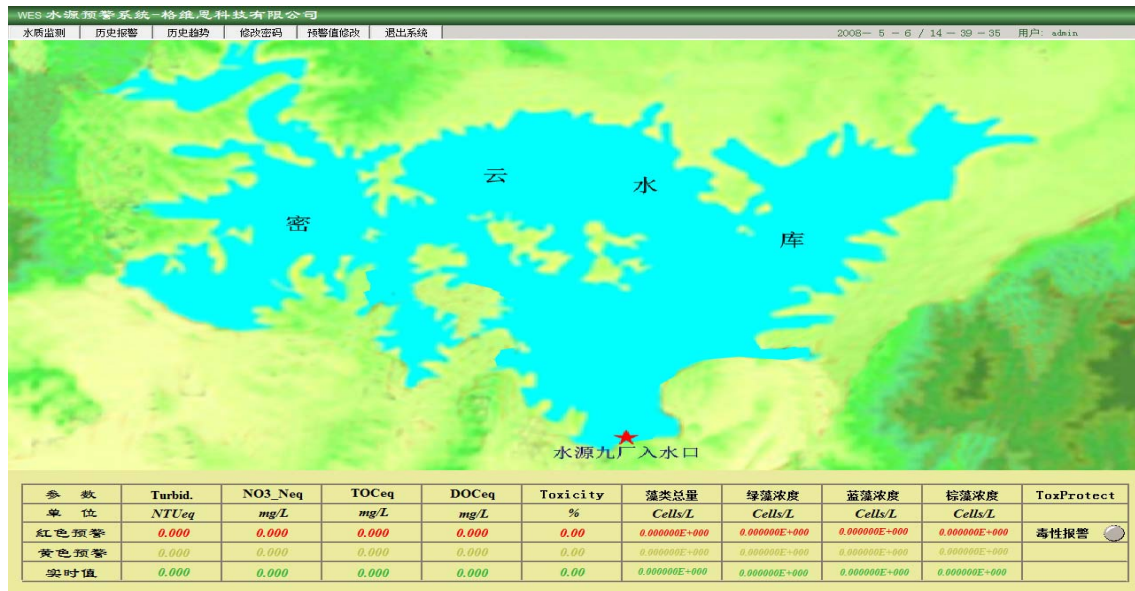
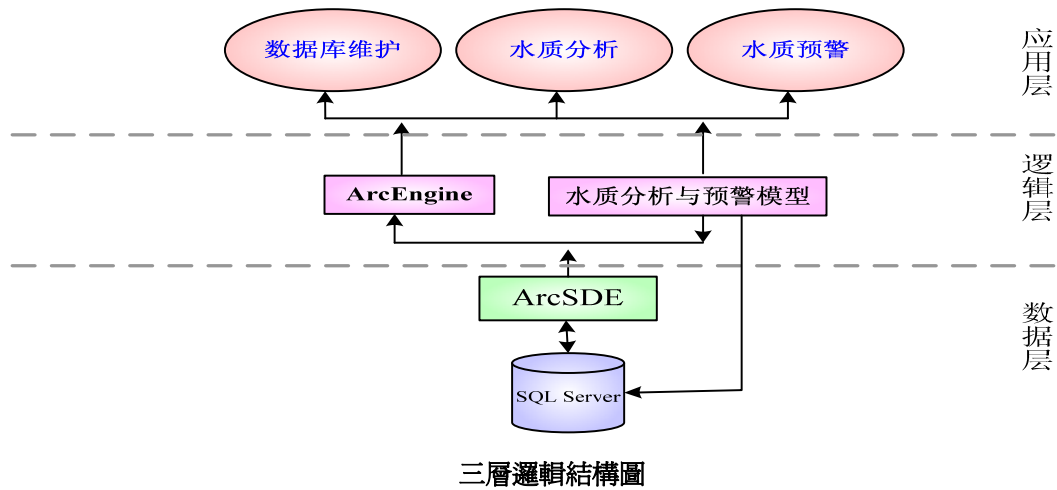
The study of raw water quality warning system and applying to the safety of water supply during the Beijing Olympic games



檢測設備



資料獲取和通信傳輸



系統軟體及預警值級別設定

2003年密雲水庫藻類分類資料 (10⁴個/L)

時間	總數	藍藻	綠藻	矽藻	金藻	裸藻	隱藻	黃藻	甲藻
2003, 4	247.3	38.4	61.8	41.7	62.1	6.1	33.9	3.3	0
2003, 6	554.6	66.9	134.9	205.2	113	0	30	0	4.6
2003, 8	800.6	453.7	143.5	167.4	4.2	0	24.9	0	5.7
2003, 10	786.9	386.3	105.1	228.9	0	17.2	17.2	32.2	0
平均	597.3	236.3	111.3	160.8	44.8	5.83	26.5	8.8	2.86

幾種化合物不同濃度的毒性反映值 (光損失率)

光損失率	一倍國標限值	十倍國標限值	百倍國標限值
------	--------	--------	--------

污染物			
六價鉻	7%	11%	16%
汞	0%	2%	1%
鉛	3%	10%	44%
亞硝酸鹽	4%	8%	10%
P, P' -DDT	4%	11%	60%
P, P' -DDE	2%	6%	40%

根據對歷史資料的分析和國外的相關經驗，對系統的預警值進行了以下設定：

檢測項目	預警值	預警級別
水中毒物的綜合毒性大小（預警值一般可分為三類）	輕微毒性 -- 對於線上毒性測定儀，測定值超過測定基線值加三倍標準差。	綠色警報（輕微毒性）
	中度毒性 -- 對於線上毒性測定儀，抑制發光菌50%發光量。	黃色警報（中度毒性）
	劇毒 -- 對於線上毒性測定儀，抑制發光菌75%發光量。	紅色警報（劇毒）
魚類線上毒性儀（魚的活性）	輕微毒性——魚活動狀態異常。（軟體自動分析得出）	綠色警報（輕微毒性）
	中度毒性——魚類生物量一定減少。（軟體自動分析得出）	黃色警報（中度毒性）
	劇毒——魚類生物量有大量減少。（軟體自動分析得出）	紅色警報（劇毒）
常規綜合參數	超過地表水環境品質標準三類水體	綠色報警（輕微污染）
	超過地表水環境品質標準四類水體	黃色警報（中度污染）
	超過地表水環境品質標準五類水體	紅色警報（嚴重污染）